

CVケーブル中の水トリー伸展を想定した高粘度シリコン油中の電界下での水滴挙動と損失電流に関する研究

著者	本田 祥己
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	89
号	1
ページ	94-95
発行年	2020-08-31
URL	http://hdl.handle.net/10097/00128992

修士学位論文要約（令和2年3月）

CV ケーブル中の水トリー伸展を想定した高粘度シリコン油中の電界下での水滴挙動と損失電流に関する研究

本田 祥己

指導教員：斎藤 浩海， 研究指導教員：八島 政史

Study on Water Droplet Behavior and Loss Current under High Electric Field in High Viscosity Silicone Oil Assuming Water Tree Extension in XLPE Cable

Shoki HONDA

Supervisor : Hiroumi SAITOH, Research Advisor : Masafumi YASHIMA

To clarify the reason why water trees extend in XLPE cables, we observed behavior of a water drop formed on the grounded electrode of a parallel electrode system in silicon oil with high viscosity with applying AC voltage, and confirmed small water particles spout out of the water drop and extend toward to high voltage electrode. The small water particles formed a shape similar to a water tree, and they might be able to simulate the water tree. Since an AC loss current containing a third harmonic component occurs due to water trees, similarity of small water particles to water trees can be said if AC loss currents due to such water particles in silicone oil contain third harmonic components. Therefore, in this study, we measured AC loss currents and their third harmonic components before and after small water particles bridged the electrodes in the silicone oil with high viscosity. In addition, we calculated AC loss currents using transient electric field analysis.

1. はじめに

CV ケーブルの主要な劣化要因の一つである水トリーについては多くの発生・伸展メカニズムが提案されているが、電圧・周波数・温度・水質といった要因を総合的に説明できるメカニズムは提案されていない⁽¹⁾。この要因の一つに、水トリーの伸展を直接観察できないことが考えられる。また CV ケーブルは経年による劣化は一概には言えないことがわかっている⁽²⁾。水トリーが存在する CV ケーブルでは、水トリーの電界に対する導電率の非線形特性により、交流損失電流に第3高調波成分が発生することが知られている⁽³⁾。これらから CV ケーブルを長期運用するために水トリーが電界方向に伸びるメカニズム、また、枝分かれするメカニズム、水トリーの導電率が非線形性を持つメカニズムを解明する必要があるといえる。そこで本研究では2つの検討を行った。まず、透明なシリコン油中の水滴に電界を印加して水滴挙動の観察と損失電流の実測を試みた。次に、実ケーブルで観察した水トリー形状から電界解析を行って損失電流を解析的に評価した。

2. 水滴挙動実験の実験方法

水トリーに見立てた水粒が電極間を橋絡した状態での水滴挙動と交流損失電流を調べる実験を行った。実験装置の概略図を図1に示す。平行平板電極系（電極直径：14 mm，ギャップ長：4 mm）の接地側電極内面上に $0.5 \mu\text{L}$ の水滴を形成し、

電極系全体を動粘度 10 万 cSt の透明なシリコン油中に浸漬した。また、電極間に 50 Hz の交流電圧を印加し、水滴や水滴から噴出する水粒の挙動を CCD カメラ（松電舎製，DN3V-500）で観察した。さらに、交流損失電流の測定のために標準コンデンサ（静電容量：100pF）を接続し、交流電圧印加時に電極系と標準コンデンサのそれぞれに流れる電流をブリッジ回路に入力し、電極系を流れる交流損失電流分のみをオシロスコープ（テクトロニクス社，DPO3054）にて観察した（図1）。

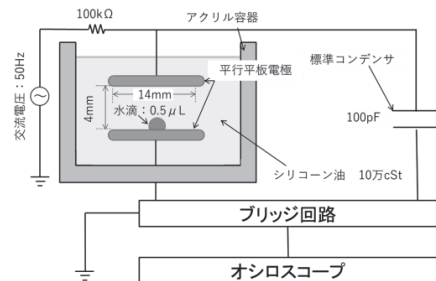
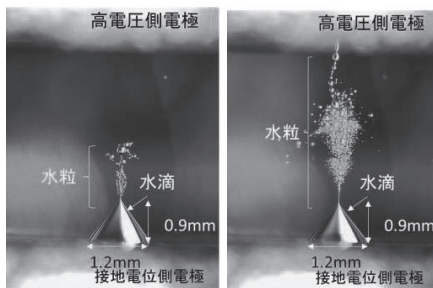


図1 実験に用いた電極系と交流損失電流測定系の概略図

3. 水滴挙動と損失電流波形

交流電圧を約 0.5 kV，1 分間保持のステップで昇圧したところ，4.4kV にて水粒が噴出した（図2(a)）。4.7kV に昇圧後 4 分 40 秒後に損失電流を

測定した (図 2(b))。そのときの波形を図 3 に示す。得られた波形に第 3 高調波成分が含まれていることが予測され、数 100Hz の高周波ノイズが含まれていることが予測されたので、ローパスフィルターにより高周波ノイズを除去、フィッティング処理を行い第 3 高調波成分の波高値と位相差を調べた。各パラメータは以下の通りとなった $I_1 = 1.45\mu\text{A}$, $I_3 = 0.505\mu\text{A}$, ($I_3/I_1 = 34.8\%$), $\theta_3 = -69.5^\circ$ 。得られた損失電流波形から I-V 特性 (図 4) を求めた。その形状は文献⁽³⁾のものと類似していた。



(a) 4.4kV 昇圧後 (b) 損失電流測定時

図 2 水滴挙動観察結果

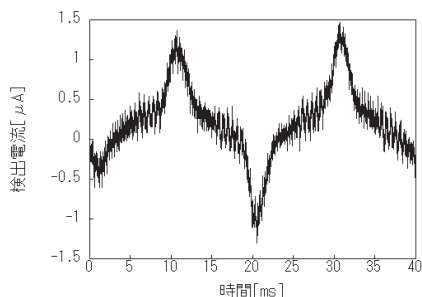


図 3 交流損失電流波形

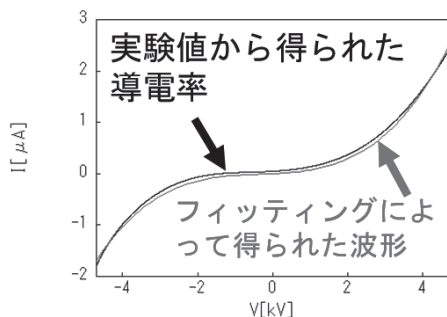


図 4 損失電流から推測した水トリーの I-V 特性

4. 過渡電界解析による交流損失電流の評価方法

解析ソフトを用いて損失電流の評価を行った。計算では、過渡電界解析ソフトウェア (Siemens 社製, ElecNet) を用い、実ケーブルに伸展した水

トリー (図 5) を模擬した電界解析モデル (図 6) を作成した。印加電圧は実効値で 10, 20, 30, 40kV, 周波数 50Hz の交流電圧とし、これを印加した時の交流損失電流波形を解析した。

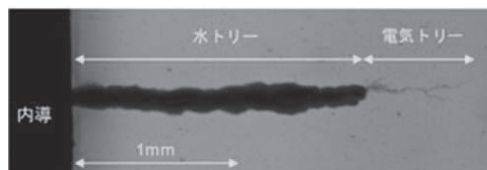


図 5 実ケーブルに伸展した水トリー⁽²⁾

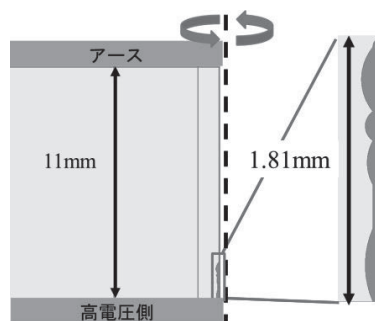


図 6 過渡電界解析による水トリーの電界モデル

5. 過渡電界解析による交流損失電流の評価

損失電流法で用いられる印加電圧 20kV のとき計算により得られた基本波成分の波高値 I_1 , 第 3 高調波成分の波高値 I_3 と位相角 θ_3 はそれぞれ $I_1 = 6.16 \times 10^{-1}$, $I_3 = 1.71 \times 10^{-1}$, $\theta_3 = -52.9^\circ$ となった。損失電流法における劣化判定曲線では θ_3 は水トリーの長さ、 I_3 は水トリーの本数に依存すると考えられる。今回用いたモデルは水トリーの本数は考慮していないが、劣化判定曲線を参照すると水トリーの長さは要注意判定に相当する値であったと評価される。

6. まとめ

シリコン油中の水滴挙動観察実験では水トリーに類似した水滴の伸展が観測でき、導電率を定式化した。過渡電界解析による交流損失電流の評価では実ケーブルに伸展した水トリーをモデルとしたところ、水トリーが未橋絡状態でも交流損失電流を計算でき、水トリーの長さに依存するパラメータは要注意判定に相当する値が得られた。

文 献

- 電気学会 トリーイング劣化基礎過程調査専門委員会：「高分子絶縁材料におけるトリーイング」, 電気学会技術報告, No.674 (1998)
- 高橋俊裕, 栗原隆史, 岡本達希：「60kV 級高経年 CV ケーブルの絶縁性能低下様相－絶縁破壊前駆遮断試験の適用と水トリーにより絶縁性能低下の確認－」, 電力中央研究所 研究報告：H18008 (2019 年 6 月)
- 八木幸弘, 田中秀郎, 武藤秀二, 木村人司：「損失電流高調波成分による CV ケーブル劣化診断法の検討」, 電学論 B, Vol.119, No.4, pp.438-444 (1999)